

第2講座

日本にやさしいイネの話

石川県立大学 生産科学科 塚口 直史

はじめに

石川県の主力農作物であるコメは日本人にとって極めてなじみの深い作物である。日本書紀には「豊葦原の瑞穂の国・・・」の記述があり、神代からイネという作物が日本という国とともにあったことを示している。当然ながらイネおよび稲作は天皇の祭祀ともなじみが深い。このように文化的に私たちの生活と強く結びつきのあるイネであるが、日本列島の大部分の環境においてイネほど生産力が高く、環境負荷が小さく、安定的に生産できる作物はない。しかしながら残念なことに、イネは昨今の夏の暑さはそれほど得意ではなく、特に昨夏の記録的な猛暑の影響でイネの収量や特に品質が全国的に大きく低下したのは記憶に新しい。イネの夏バテを克服することが大きな課題となる。

1. イネの収量

現在日本で栽培されているイネ (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*) が栽培化されたのは揚子江中下流といわれている。日本には中国大陆から直接渡来したと考えられており、縄文晩期にはすでに栽培されていた(佐藤、2002)。その後、稲作は8世紀に奥羽地方、12世紀頃本州北端へとゆっくりと北進した。

イネをはじめとして穀類の収量は、産業革命以降、無機窒素肥料の工業的生産が可能となることにより、また1960年代にイネやコムギの「緑の革命」で近代多収品種の開発により急激に増大した。収量とは栽培面積当たりの収穫量を示す用語である。諸外国ではヘクタール(100アール)当たりのトン数で示すが、日本では慣例的に10アール当たりのkg数(反収、1反当たりの収量)で示ことが多い。反とは面積の単位で、10アール程度の面積を指すが、そもそも1反とは1石の米を生産するのに必要な田圃の面積であった。

成人が年間で消費する米の量が1石である。ちなみに律令時代は1反=360坪であり、1坪とは1人が1日に消費する米の生産に必要な土地の面積を指した。ただし、江戸時代以降コメの反収は増加し続け、現在、反や石という単位の間には必ずしも上述の関係が成り立つものではない。

日本のイネ収量は530 kg程度である。FAO データベース (FAO) によると、1961年には112か国中4位であったのが2004年には14位と低迷気味である。その期間の収量の伸び率もアメリカや中国では2~3倍あるのに対して1.3倍程度と小さな水準である。コメ余りや良食味米品種へのシフトという社会的要因に加えて、イネ栽培期間の日本の気象環境は日射量が小さくイネの生育期間の気温が高めで、イネが多収をあげるには最適ではない。さらに可能収量のかなりの部分が20世紀半ばまでに達成されていたということも見逃せない。産業革命以前の穀類の収量は現在の水準からみるとかなり低いものであったが、それでも日本のコメ収量は世界的にみてかなり高い水準にあった。江戸時代後期には、畿内では400 kg程度の収量も珍しくなかったようである(田中、1987)。化学肥料こそ用いられなかったものの、干鰯などの肥料が用いられたこと、多くの肥料を施用しても倒れない耐肥性品種がすでに存在していたことなどかなりの先進的な農業が営まれていたことに加えて、イネが水田で栽培される作物であることと無関係ではない。

2. 水田稲作の高い生産性と持続可能性

イネは通常水田で栽培される。水田の環境はかなり特殊である。水田土壌は窒素やリン酸等のイネの生育に必須の養分をよく保持してイネに吸収しやすい形で供給する。肥料の投入量に対する作物の利用率が高い

ので、投入量が少なくてもある程度の収量が期待できるのである。そればかりでなく、系外への肥料成分の流出が抑えられるため、多量の肥料を施用して多収栽培を行っても周囲環境への汚染は極めて小さい。このように水田は単に生産性が高いだけではなく持続生産性が高く、環境負荷が小さい。

ただしどんな植物でも水田で栽培できるわけではない。多くの植物は根を水浸しにすると根が腐って枯れてしまう。水をやりすぎて植物を枯らした経験は多くの人が持っているだろう。イネは茎や根の通導組織を通じて根に酸素が供給でき、また根は嫌気条件に対する防御機構も持つ。一般に植物は水を吸うほどよく成長するが、根が活動するには多量の酸素が必要であるため、根の環境を好氣的に保ちつつ十分量の水を供給することが多収のための重要な課題となる。水田栽培することが可能なイネにおいてはその課題はすでに解決されている。

良いことづくしのような水田稲作であるが、水田を作るには多量の水が必要となる。イネは必ずしも水田で栽培する必要があるわけではない。実際に中国などでは少ない水資源を有効利用するために、イネを畑状態で栽培する節水栽培技術が確立されてきた。節水栽培技術により水田栽培並みの収量は達成できるようにはなったが、水田栽培の持続生産性や低い環境負荷は期待できない。十分の降水量がある日本では、河川水からの安定した灌漑が可能であるのに対して、諸外国では必ずしもそうではない。アメリカやオーストラリアなどでは灌漑水の多くを地下水に依存するが、地下水資源の枯渇が問題となっており、これらの地域における持続生産性は強く危惧される。

また日本の山の多い地形は日本列島に稲作が広がることに利した。古代から中世にかけては、山麓の小さな谷間を堰き止めた溜池や、小河川の谷の出口を堰き止めた井堰から用水を比較的容易に得ることのできるような地域がまず開発の対象となった(田中、1987)。美しい棚田の風景は、大規模化から取り残された中山間地農業の一方の側面でもあるが、まさにそこに日本

の水田稲作の原点があるともいえるのである。

3. イネは暑さや寒さにそれほど強くない

このようにイネという作物は日本の環境に極めてよく適応するが、生育適温を超えた高温や低温は避けることができない。ここでは近年の温暖化現象による夏の暑さにより生じる問題を紹介したい。温暖化現象の続く近年(図1)にあっても、特に平成22年の夏は平年と比べて気温が1.6℃以上高い、記録上これまで最も暑い夏であった。気温に加えて日射量も大きかったため、収量の落ち込みは小さかったが、コメの品質を示す1等米比率の低下は著しかった(図2)。コメの検査等級はコメの買入れ価格に反映されるため、農家にとっては大きな打撃となる。

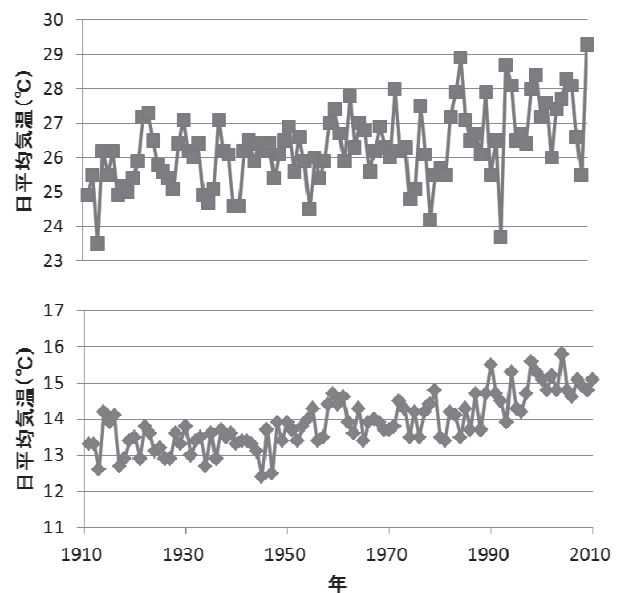


図1 過去100年間における金沢市の8月(上)および年間(下)の日平均気温の推移(金沢地方気象台)

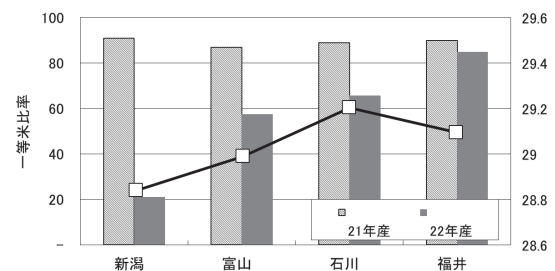


図2 平成21年産および22年産に北陸4県で出荷されたコシヒカリの1等米比率(左目盛 パーセント)と各県の8月上旬の日平均気温(折れ線 右目盛 ℃)

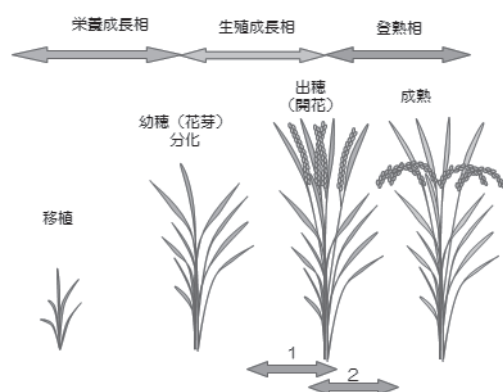


図3. イネの発育相

極端な高温や低温により不稔が生じる期間（1）と高温により白未熟粒や胴割れ粒の発生しやすい期間（2）を矢印で示した。

イネに限らず穀物の収量は光合成で稼いだ炭水化物を穀粒にため込むことで成り立つ。穀粒の形成および炭水化物蓄積過程は低温や高温に弱い（図3）。減数分裂期から開花期の低温により、花粉が十分に発達せず、コメが実らなくなる現象は冷害としてよく知られる。同様に、同時期に高温（37℃以上）に遭遇しても籾に実が入らなくなる現象が生じる。またそれほどの高温でなくてもイネの花が咲いた後の一か月ほどの期間の平均気温が25℃を超えると、コメの充実が悪くなり収量が低下する、あるいはコメの中にデンプンが十分詰

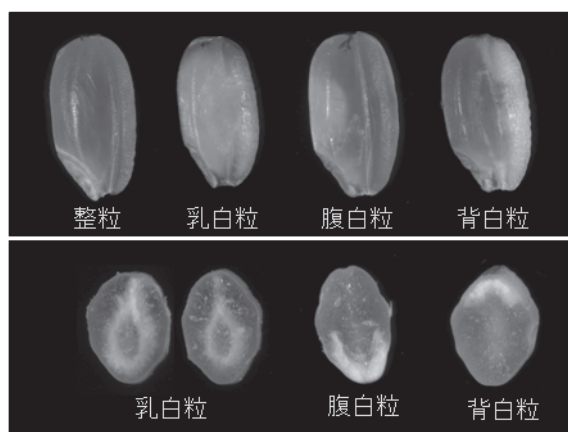


図4. 各タイプの白未熟粒の外観（上）と胚乳断面の白濁の様子（下）

まらずに白く濁る白未熟粒やコメの中にひび割れが生じる胴割れ粒が発生する。白未熟粒や胴割れ粒の発生がコメの検査等級を低下させる。

4. 白未熟粒とその低減に向けて

白未熟粒は白く濁る部位により、乳白粒、背白粒、基白粒、腹白粒と呼ばれる（図4）。白未熟粒が白く濁って見えるのは、胚乳細胞内に蓄積したデンプン粒の間に空隙が生じることにより光が乱反射することによって考えられている。またデンプン粒の間の空隙はデンプン粒の収縮、デンプン粒の異常増殖（による小さなデンプン粒の増加）、一旦蓄積したデンプンの分解による。高温によりどのようなメカニズムでこのような現象が生じるのかについてはまだ充分には明らかにされていない。高温により胚乳組織の老化が進むことが明らかになりつつあり、デンプンの蓄積が完了する前に胚乳の成長が停止してしまうと考えられる。一般に、白“未熟”粒との呼称で呼ばれるが、むしろ実る前に老化が進んでしまった米粒というべきかもしれない。

白未熟粒発生の低減のためには、高温ストレスの回避、緩和および作物体への高温ストレス耐性の付与が有効な手段と考えられる。高温ストレス耐性の付与には耐性品種の開発があげられる。白未熟粒発生は温度だけではなく様々な栄養条件等の影響を受けるため、耐性品種の開発は困難であった。しかし、現在多くの研究者が分子遺伝学的手法を取り入れて、高温耐性を付与する遺伝子を同定するために努力している（図5）。近い将来、多収かつ良食味の高品質米品種が生まれることが期待される。

高温ストレス耐性向上のためにはイネ体の窒素栄養状態の改善も重要と考えられる。コメのタンパク濃度が高くなりすぎると食味が損なわれることから、近年窒素施肥が過剰に抑制されてきた。食味を損なわない程度に窒素を施用することが重要である。

高温ストレス回避のためには遅植えが有効である。コメが実る時期が暑さのピークから外れることができるからである。ただし遅植えの効果は高温ストレス回

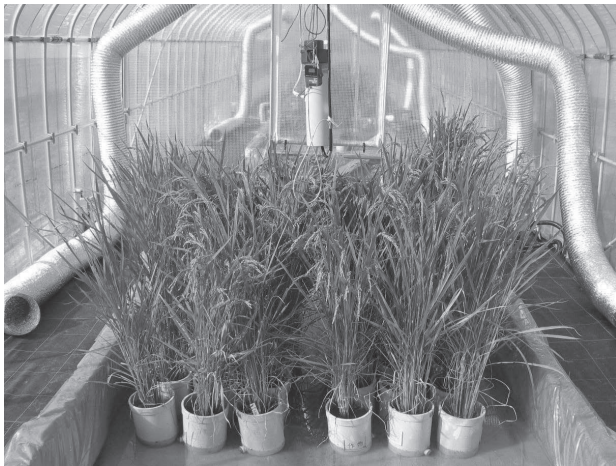


図 5. 白未熟粒解析のために石川県立大学附属農場に設置された温度勾配温室の外観と内部の様子

避だけではない。その好例として昨年度は福井県で遅植えが大きな効果をあげたことがあげられる。8 月の後半に記録的な高気温を記録し、遅植えによる高温回避効果がほとんどなかったにもかかわらず、福井県での白未熟粒発生は低く抑えられ、一等米比率の低下幅は小さかった。これは、移植日を遅らせたほどには出穂日は遅くならず、遅植えすることにより、イネはより若く良い栄養状態で出穂を迎えることができるからである。

掛け流し灌漑は高温ストレス緩和のために有効とされる。このためには灌漑水量が豊富であることおよび灌漑水の温度がそれほど高くないことが条件である。石川県の加賀地域では手取川の豊富な水量により掛け流し灌漑が可能である。また登熟中後期の水田への通水は地下水の涵養という別な効果も併せ持つ。地耐力を失わない程度に高温ストレスを緩和し、地下水の涵

養にも効果的な掛け流し灌漑技術の開発も望まれる。

終わりに

さまざまな課題も抱えつつ、やはりイネは日本の環境に最も適した作物であることには違いない。多少価格が高くとも国内産のコメを食べることは誰もが簡単にできる「地球にやさしい」そして当然「日本にやさしい」行為なのである。

参考文献

FAO データベース <http://faostat.fao.org/>

気象庁データ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

日本作物学会北陸支部・北陸育種談話会編 高温障害に強いイネ. 養賢堂 (2007)

佐藤洋一郎 稲の日本史、角川選書 (2002)

田中耕司 近世における集約稲作の形成. 稲のアジア史 3. 小学館. 291-334 (1987)

Rice save Japan

Tadashi Tsukaguchi

The land and climate in most part of Japan are suitable for rice cultivation. Rice plants can grow in the paddy field condition, in which roots are exposed to anoxic environments. Due to its soil chemical characteristics, paddy field has high productivity and crop production in paddy field is extremely sustainable. One of the environmental factors which reduce yield or quality of rice in Japan is temperature in summertime, in which rice grains are filled. Extreme high temperatures cause male sterility. Though not so high temperature, daily temperature higher than 25 °C cause chalky kernels, which reduce the market value of rice. Researchers are working for developing tolerant varieties and technologies which reduce the occurrence of chalky kernels.